

УДК 669.017.3;669.017.3:620.18

Г. Г. Майер*, Е. Г. Астафурова

Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения
Российской академии наук, г. Томск

*galinazg@yandex.ru,

ВЛИЯНИЕ ОТЖИГОВ НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ РОСТА ЗЕРНА В ВЫСОКОМАРГАНЦЕВЫХ АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЯХ С МИКРОСТРУКТУРОЙ, СОДЕРЖАЩЕЙ ВЫСОКУЮ ПЛОТНОСТЬ ДВОЙНИКОВЫХ ГРАНИЦ

Изучено влияние высокотемпературных отжигов на структурно-фазовые превращения и закономерности роста зерна в аустенитных сталях Fe-13Mn-1,3C, Fe-13Mn-2,7Al-1,3C, Fe-28Mn-2,7Al-1,3C (мас. %) с разной энергией дефекта упаковки, в которых методом кручения под высоким давлением сформированы наноструктурные состояния с высокой плотностью двойниковых границ.

Ключевые слова: аустенитная сталь, кручение под высоким давлением, двойникование, фазовое превращение, отжиги.

G. G. Maier, E. G. Astafurova

THE EFFECT OF ANNEALING ON STRUCTURAL AND PHASE TRANSFORMATIONS, REGULARITIES OF GRAIN GROWTH IN HIGH-MANGANESE AUSTENITIC STEELS WITH A MICROSTRUCTURE CONTAINING HIGH DENSITY OF TWIN BOUNDARIES

The effect of annealing on structural and phase transformations, regularities of grain growth in austenitic steels Fe-13Mn-1,3C, Fe-13Mn-2,7Al-1,3C, Fe-28Mn-2,7Al-1,3C (wt. %) with different stacking fault energies was studied, in which the nanostructured states with high density of twin boundaries were produced by high-pressure torsion.

Key words: austenitic steel, high-pressure torsion, twinning, phase transformation, annealing.

Изучено влияние отжигов на структурные и фазовые превращения, закономерности роста зерна в наноструктурированных аустенитных сталях Fe-13Mn-1,3C (I), Fe-13Mn-2,7Al-1,3C (II), Fe-28Mn-2,7Al-1,3C (III) (мас. %) с разной энергией дефекта упаковки. Наноструктурирование сталей с исходно монокристаллической аустенитной структурой проводили методом кручения под высоким давлением (КВД) при комнатной температуре и давлении 6 ГПа, число оборотов (N) составляло 1, 3 и 5. После КВД образцы отжигали при температурах 400, 500, 600, 700, 800 °C с выдержкой 1 час.

После КВД все исследуемые стали обладали однофазной аустенитной структурой. Параметры решетки (a) аустенита составляли 0,3625 нм, 0,3636 нм и 0,3651 нм соответственно для I, II и III стали. Высокие значения a свидетельствовали о высоком уровне твердорастворного упрочнения. Изменение степени деформации (числа оборотов N при КВД) не влияло на параметры решетки сталей. Показано, что стали сохраняют однофазную аустенитную структуру до отжига при $T = 400$ °C, после отжигов при $T = 500$ и 600 °C наблюдаются сильные линии с межплоскостными расстояниями, соответствующими аустениту и ферриту, при более высоких температурах отжига образуется преимущественно аустенитная структура. После отжига при $T = 800$ °C на рентгенограммах присутствовали линии γ -железа и слабые линии цементита, а для стали II — и феррита.

Сформированная при КВД двойниковая сетка сохраняется в микроструктуре образцов после постдеформационных отжигов вплоть до температуры 600 °C. В стали I после отжига при 500 °C происходит $\gamma \rightarrow \alpha$ фазовое превращение, и доля феррита составляет менее 5 % от объема материала. После отжига при $T = 600$ °C доля материала, претерпевшего распад, составляет ≈ 30 %, наблюдается рост отдельных аустенитных зерен. В стали II распад аустенита с образованием феррита и цементита происходит интенсивнее: после отжига при $T = 500$ °C зерна с перлитными колониями занимают около 50 % объема материала. В непревращенных областях аустенита сохранялась двойниковая сетка, сформированная при КВД. После отжига при $T = 600$ °C формируется однородная гетерофазная мелкозернистая структура, которая состоит из рекристаллизованных зерен аустенита ($d = 1,4$ мкм),

зерен перлита ($d < 1$ мкм) и областей нерекристаллизованного аустенита, содержащих двойниковые границы. В стали III высокая концентрация Mn способствует стабилизации аустенита и подавляет $\gamma \rightarrow \alpha$ фазовое превращение. После отжигов в интервале $T = (400\text{--}800)^\circ\text{C}$ она сохраняет преимущественно аустенитную структуру. После отжигов при $T = 500$ и 600°C редко наблюдали области, в которых произошел распад аустенита с образованием перлитных колоний. Сетка деформационных двойников наблюдается после отжига при $T = 600^\circ\text{C}$ в нерекристаллизованных объемах.

Независимо от состава стали типа сформированной дефектной структуры при КВД (плотности дислокаций и двойниковых границ) и склонности аустенита к распаду с образованием феррита и карбидов, во время отжигов при температурах $T = 700$ и 800°C происходит рекристаллизация в аустените с образованием мелкозернистой структуры.

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда
(проект № 18–79–00149).*

*Авторы благодарны профессору Ю. И. Чумлякову за монокристаллы
сталей, предоставленные для исследований.*